7 La energía de las ondas



CUESTIONES

1. Cita tres fenómenos que se propaguen en forma de ondas.

2. ¿Qué se propaga más rápidamente, la luz o el sonido? Justifica tu respuesta mediante un ejemplo.

3. ¿Puede propagarse el sonido en el vacío? ¿Y la luz?

4. ¿Sabrías describir y explicar qué es el eco?

5. ¿Por qué, cuando se observa desde el aire un remo sumergido parcialmente en el agua, este parece estar doblado?

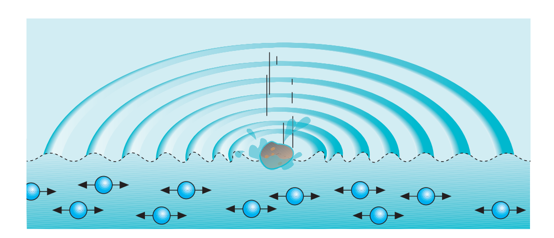
6. ¿Crees que es exagerado afirmar que vivimos sumergidos en un mar de ondas (sonoras, luminosas, de radio, de telefonía…)?

1 Concepto de movimiento ondulatorio

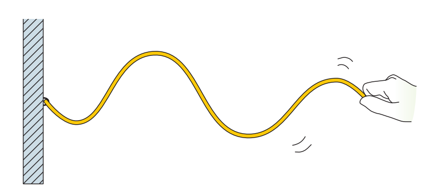
A continuación vamos a analizar con detalle algunos fenómenos:

- Cuando lanzamos una piedra a un estanque se forman ondas que se propagan por la superficie del agua.
- Si provocamos sacudidas en el extremo de una cuerda, estas se transmiten en forma de onda por toda la cuerda.
- El sonido se propaga en el aire por medio de ondas.
- La luz que emite un foco luminoso se propaga en forma de ondas.

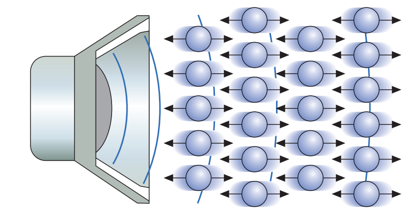
- Las moléculas de agua con las que choca la piedra (foco) comienzan a vibrar verticalmente y la vibración se transmite horizontalmente a las moléculas próximas a ellas. La perturbación se propaga gracias a la elasticidad del medio y genera un movimiento ondulatorio.



- En el extremo de la cuerda (foco) se produce una vibración hacia arriba y hacia abajo que se propaga horizontalmente por toda la cuerda debido a la elasticidad del medio.



- Las moléculas de aire próximas a la membrana del altavoz (foco) repiten el movimiento de esta y vibran hacia delante y hacia atrás. Esta vibración se propaga por el aire en todas las direcciones.



- La perturbación originada en el foco radiante o luminoso se propaga en todas las direcciones sin necesidad de que exista un medio de propagación.



Todos los ejemplos anteriores tienen algo en común: la perturbación producida en un punto (foco emisor) se propaga y alcanza otros puntos a los que transmite la energía generada por dicha perturbación.

- El **movimiento ondulatorio** es una forma de transmisión de energía que no va acompañada de transporte de materia.
- Un **movimiento ondulatorio** es la propagación de un **movimiento vibratorio,** es decir, la propagación de un movimiento periódico alrededor de la posición de equilibrio de un cuerpo.
- Una **onda** es la posición que adopta en cada instante la perturbación que se ha producido.

Actividades

1 Fíjate en las ilustraciones de esta página y contesta las preguntas:

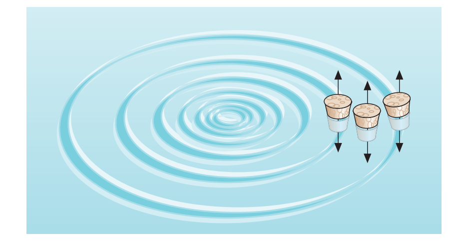
a) ¿Qué es lo que se propaga en cada ilustración?

b) ¿Qué tipo o tipos de movimiento se producen en cada situación?

c) ¿En cuáles de los ejemplos es necesario un medio de propagación?

Lee y contesta

Los corchos de la ilustración suben y bajan (vibran) al ser alcanzados por las ondas que se propagan en el agua, pero no se desplazan.



I Distingue en este dibujo entre el movimiento vibratorio y su propagación, el movimiento ondulatorio.

1.1. Clasificación de las ondas

Las ondas se pueden clasificar en función de diferentes criterios:

- Según necesiten o no un medio elástico para propagarse, cabe distinguir entre **ondas mecánicas** y **ondas electromagnéticas.**
- Según sean las direcciones de vibración y de propagación entre sí, las ondas se pueden clasificar en **longitudinales** y **transversales.**
- Según el tiempo que dure la perturbación, se distingue entre **pulso** y **tren de ondas.**

Onda mecánica.

La radiación procedente de las estrellas y galaxias es un ejemplo de ondas electromagnéticas. Esta radiación se propaga en el vacío.

Ondas mecánicas

Las **ondas mecánicas** u **ondas materiales** son las que se originan al producirse una perturbación en un medio elástico por el cual se propagan.

Las ondas sonoras, las ondas generadas en la superficie del agua o las que tienen lugar en cuerdas y muelles constituyen ejemplos de ondas mecánicas.

Ondas electromagnéticas

Las **ondas electromagnéticas** no precisan necesariamente de un medio elástico, ya que se propagan también en el vacío.

La luz visible, los rayos X, los infrarrojos y los ultravioletas son ejemplos de ondas electromagnéticas.

Ondas longitudinales

Experimenta

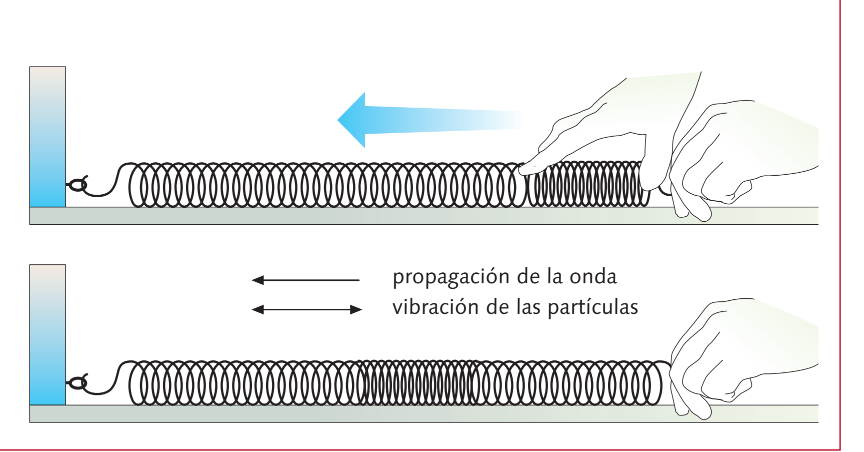
1. Coloca un muelle de unos 40 cm de longitud sobre una superficie horizontal lisa y sujétalo a la pared por uno de sus extremos.

2. Comprime algunas espiras del muelle y suéltalas, manteniendo sujeto el otro extremo del muelle.

a) ¿Se propaga la compresión a lo largo del muelle?

b) ¿Se propaga materia a lo largo del muelle?

c) Realiza varios dibujos de la experiencia en los que se observe el movimiento ondulatorio en diferentes pasos.



En la experiencia descrita se puede comprobar que la compresión se propaga a lo largo del muelle hasta llegar a la pared: se trata de una onda longitudinal.

En las **ondas longitudinales,** las vibraciones de las partículas en torno a su punto de equilibrio se producen en la misma dirección que la de la propagación de las ondas.

Las ondas longitudinales se producen por compresiones y dilataciones entre las partículas que vibran.

Las ondas sonoras y las que se propagan a través de un muelle constituyen ejemplos de ondas longitudinales.

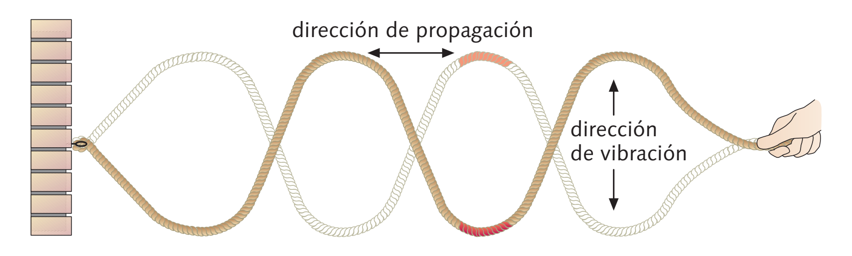
Actividades

2 Responde verdadero o falso y justifica tu respuesta: ***a)*** las ondas mecánicas necesitan un medio para propagarse; ***b)*** las ondas electromagnéticas no pueden propagarse por los medios materiales; ***c)*** el sonido puede propagarse en el vacío.

Ondas transversales

Experimenta

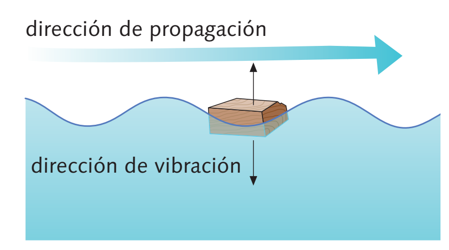
1. Toma una cuerda suficientemente larga y pinta una pequeña porción de la misma.
2. Sujeta la cuerda por un extremo y colócala en posición horizontal.
3. Agita verticalmente el otro extremo.



a) ¿Se propaga horizontalmente la perturbación a lo largo de la cuerda?

b) ¿Hacia dónde se desplaza la porción coloreada? ¿Y la onda?

c) ¿Cómo son ambas direcciones entre sí?



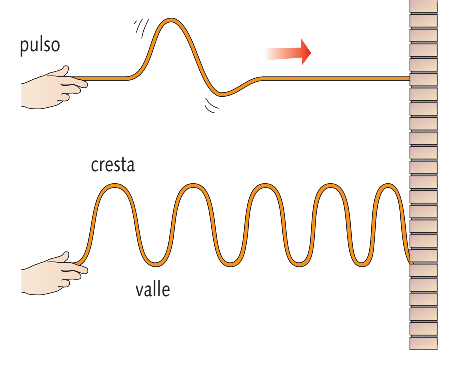
Las ondas en la superficie del agua son transversales. El trozo de madera vibra verticalmente subiendo y bajando, mientras que las ondas avanzan horizontalmente.

En el experimento se puede comprobar que, mientras la cuerda vibra verticalmente, la perturbación se propaga horizontalmente a lo largo de toda ella. La porción coloreada se desplaza hacia arriba y hacia abajo, pero no a lo largo de la cuerda. Se trata de una onda transversal.

En las **ondas transversales,** las vibraciones de las partículas en torno a su punto de equilibrio se producen en dirección perpendicular a la de la propagación de las ondas.

Pulso y tren de ondas

Si la perturbación en el foco es instantánea, se produce un **pulso** u onda solitaria. Si la perturbación se repite en el tiempo, se produce un **tren de ondas.**



Pulso y tren de ondas.

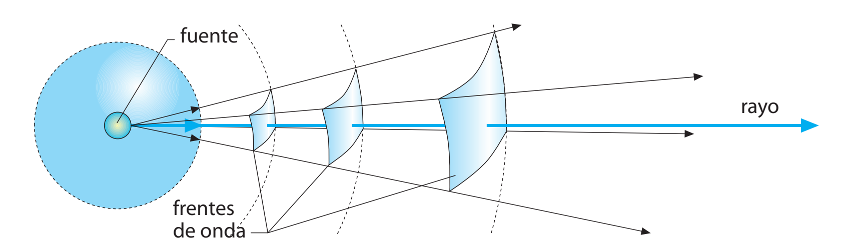
1.2. Propagación de las ondas. Frente de onda

Una forma de representar las ondas longitudinales y transversales es mediante frentes de onda.

Un **frente de onda** es la línea o la superficie formada por los puntos que han sido alcanzados por la perturbación en un mismo instante.

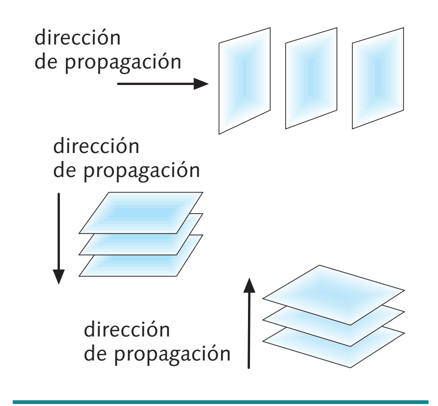
Aunque los frentes de onda próximos al foco de la perturbación son superficies esféricas, en puntos más alejados del foco emisor el frente de onda puede considerarse plano.

Se denomina **rayo** a una línea imaginaria perpendicular al frente de onda.



Actividades

3 Dibuja los rayos que corresponden a los frentes de onda planos de las siguientes figuras.



1.3. Magnitudes características de las ondas

Las magnitudes características de las ondas son la *velocidad de propagación*, la *longitud de onda*, el *período*, la *frecuencia* y la *amplitud*.

Velocidad de propagación de las ondas

Las ondas se propagan a velocidad constante cuando el medio posee idénticas propiedades en todas las direcciones (medio isótropo).

La **velocidad de propagación, *v*,** es la distancia que la onda recorre en cada unidad de tiempo.

Longitud de onda

Es la distancia recorrida por la onda mientras el foco realiza una vibración completa.

La **longitud de onda, λ,** es la distancia que separa dos puntos consecutivos de dicha onda que vibran de idéntica manera. Se expresa en metros.

La distancia entre los puntos *A* y *E* u *O* y *D* del dibujo constituyen ejemplos de la longitud de onda.

Período

El **período, *T*,** es el tiempo que tarda la perturbación en recorrer una longitud de onda. Coincide con el tiempo que tarda un punto en realizar una vibración completa. Se expresa en segundos.

En nuestro caso, el período sería, por ejemplo, el tiempo transcurrido en el viaje de la perturbación desde *O* a *D*, o desde *A* a *E*.

Frecuencia

La **frecuencia, *f*,** es el número de vibraciones que realiza un punto en la unidad de tiempo. Su unidad es el hercio (Hz), que significa «por segundo».

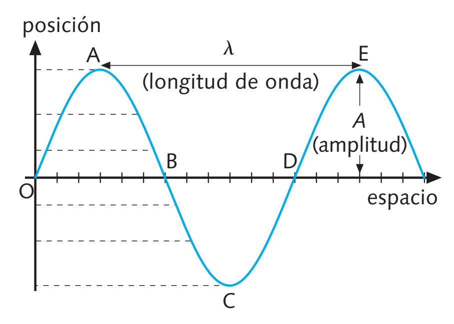
Amplitud

La **amplitud, *A*,** es la separación máxima que alcanza, desde la posición de equilibrio, cada uno de los puntos oscilantes del medio. Se expresa en metros.

En nuestro caso es la distancia del eje de abscisas a los puntos *A*, *C* o *E*.

Lee y contesta

En la siguiente ilustración se muestran dos de las magnitudes características de una onda: λ y *A*.





Suponiendo que cada división horizontal equivale a 1 cm, halla el valor de λ y *A*.

Recuerda

El período y la frecuencia son magnitudes inversas:

$$f = \frac{1}{T}$$

Actividades

4 Indica en tu cuaderno a qué definición pertenecen los conceptos: **1.** Frecuencia; **2.** Longitud de onda; **3.** Amplitud; **4.** Rayo; **5.** Pulso. ***a)*** Distancia recorrida por la onda en un período; ***b)*** máximo desplazamiento; ***c)*** su unidad es el hercio; ***d)*** onda solitaria; ***e)*** es perpendicular al frente de onda.

5 ¿Cuál es el período de una onda que se propaga con una frecuencia de 10 Hz? ¿Y si la frecuencia fuera de 10 000 Hz? **Solución:** 0,1 s; 10^{-4} s

Relación entre las magnitudes que definen una onda

La onda recorre un espacio, λ, en un período, T; por tanto, la velocidad de propagación de la onda, v, es:

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

Como la frecuencia es la inversa del período, $f = \frac{1}{T}$:

$$v = \lambda \cdot f$$

Esta última igualdad es otra forma de expresión de la velocidad de onda.

EJEMPLO 1

En el centro de una piscina circular de 5 m de radio se produce un movimiento ondulatorio en la superficie del agua que tarda 10 s en llegar al borde. Calcula la velocidad de propagación de la onda.

La velocidad de propagación es:

$$v = \frac{\text{espacio recorrido}}{\text{tiempo empleado}}$$

Sustituyendo los datos, tenemos que:

$$v = \frac{5\ \text{m}}{10\ \text{s}} = 0{,}5\ \text{m/s}$$

EJEMPLO 2

¿Cuáles son la frecuencia y el período de un tren de ondas de 0,6 m de longitud que se propaga por una cuerda a una velocidad de 30 m/s?

Aplicando la ecuación que relaciona la frecuencia, la longitud de onda y la velocidad, obtenemos:

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{30\ \text{m/s}}{0{,}6\ \text{m}} = 50\ \text{Hz}$$

Como el período y la frecuencia son magnitudes inversas:

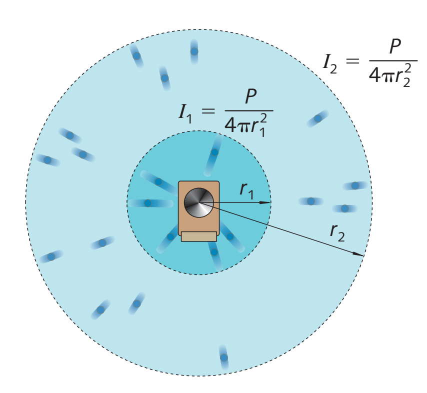
$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50\ \text{Hz}} = 0{,}02\ \text{s}$$

Intensidad de una onda

Como ya hemos visto, en un movimiento ondulatorio se propaga energía, pero no materia. Una magnitud adecuada para representar la rapidez con la que se transfiere la energía en un movimiento ondulatorio es la intensidad de onda.

La **intensidad,** I, de un movimiento ondulatorio es la cantidad de energía que pasa, en la unidad de tiempo, a través de la unidad de superficie colocada perpendicularmente a la dirección de propagación. Equivale a la potencia por unidad de superficie. Se expresa en W/m^2.

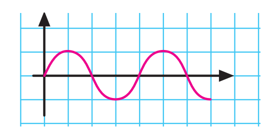
$$I = \frac{E}{S \cdot t};\ I = \frac{P}{S}$$

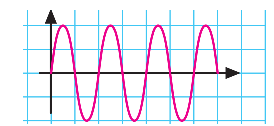


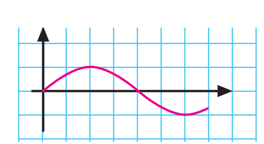
La intensidad de una onda es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia a la fuente sonora.

Actividades

6 Indica cuál de estas tres ondas tiene mayor frecuencia, mayor longitud de onda y mayor amplitud si se transmiten a la misma velocidad:







7 Unas olas tardan 2 min en llegar a una playa desde una roca que se encuentra a 60 m. ¿Cuál es la velocidad de estas ondas?

Solución: 0,5 m/s

8 ¿Cuál es la frecuencia y el período de un tren de ondas de 1 m de longitud de onda que se propaga a lo largo de una cuerda a una velocidad de 10 m/s?

Solución: 10 Hz; 0,1 s

2 Fenómenos ondulatorios

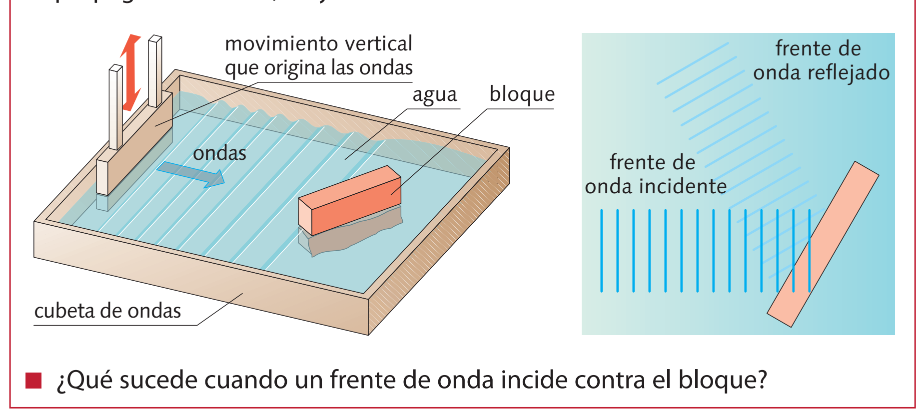
Cubeta de ondas. Recipiente rectangular con agua, en cuyo fondo se sitúa un espejo. En un extremo se halla una barra a la que un motor eléctrico conectado a ella provoca un movimiento vibratorio vertical.

El método más adecuado para estudiar el comportamiento de los fenómenos ondulatorios consiste en utilizar una cubeta de ondas como la que aparece en las experiencias que estudiaremos a continuación.

2.1. Reflexión de las ondas

Experimenta

Coloca oblicuamente un bloque recto y liso en la cubeta con agua por donde se propagan las ondas, tal y como se muestra en la ilustración.



- ¿Qué sucede cuando un frente de onda incide contra el bloque?

Con esta experiencia se comprueba que el frente de onda rebota cuando choca contra el obstáculo, es decir, se refleja.

La **reflexión** es el cambio de dirección que experimenta un frente de ondas al chocar con una superficie lisa sin atravesarla.

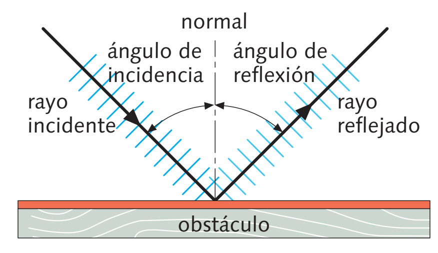
Te interesa saber

Al mover verticalmente una mano en una bañera con agua, se produce una serie de ondas. Cuando estas ondas llegan a las paredes de la bañera, «rebotan» y cambian de dirección. Este fenómeno se conoce como **reflexión** de las ondas.

Leyes de la reflexión

Para explicar las leyes de la reflexión utilizamos el concepto de **rayo.**

1. El rayo incidente, el reflejado y la normal están en un mismo plano.
2. El ángulo de incidencia —formado por el rayo incidente y la normal— y el ángulo de reflexión —formado por la normal y el rayo reflejado— son iguales.



Fenómeno de reflexión de las ondas.

Observa que, al propagarse en el mismo medio, la onda incidente y la reflejada lo hacen a la misma velocidad.

Actividades

9 Un frente de ondas generado en una cubeta con agua se aproxima a un bloque rectangular de plástico como el de la figura del apartado *Experimenta.*

a) ¿Qué le sucede al frente de ondas?

b) ¿Qué le ocurre a la velocidad de las ondas?

c) Dibuja un diagrama que muestre lo que sucede.

d) Dibuja este mismo diagrama utilizando rayos. Identifica en tu diagrama los rayos incidente y reflejado, la normal y los ángulos de incidencia y de reflexión.

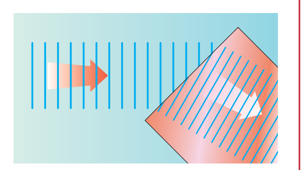
e) Si el rayo incidente forma un ángulo de 30° con la normal, ¿qué ángulo forman el rayo incidente y el reflejado?

f) ¿Qué sucede si el rayo incide perpendicularmente?

2.2. Refracción de las ondas

Experimenta

Coloca una placa de plástico o de cristal en una cubeta de ondas y añade luego el agua justa para cubrirla. La placa debe quedar en sentido oblicuo a las ondas.



a) ¿Qué ocurre con el frente de ondas?

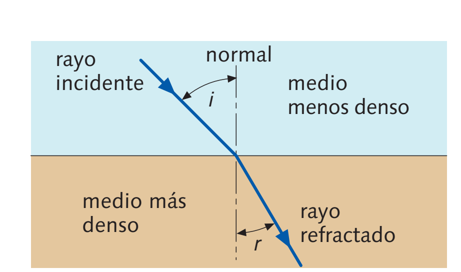
b) ¿A qué se debe?

Las ondas se aproximan entre sí cuando se encuentran sobre la placa, pues se propagan más despacio cuando la profundidad del agua es menor. Al colocar la placa en el fondo de la cubeta de forma oblicua, un extremo de las ondas alcanza la zona menos profunda antes que el otro extremo; en ese momento se produce un cambio de dirección.

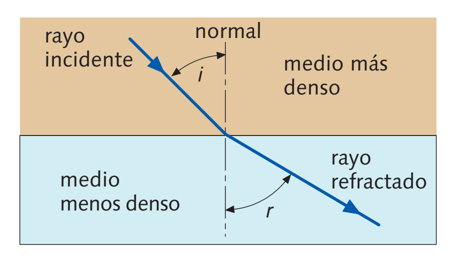
La **refracción** consiste en el cambio de velocidad que experimenta un tren de ondas al pasar de un medio a otro de distinta profundidad o densidad.

Leyes de la refracción

1. El rayo incidente, el refractado y la normal están en un mismo plano.
2. Cuando una onda pasa de un medio menos denso a otro más denso —en el que su velocidad es menor—, el rayo refractado se acerca a la normal (figura 1). Si la onda pasa de un medio más denso a otro menos denso, el rayo refractado se aleja de la normal (figura 2).



(figura 1)



(figura 2)

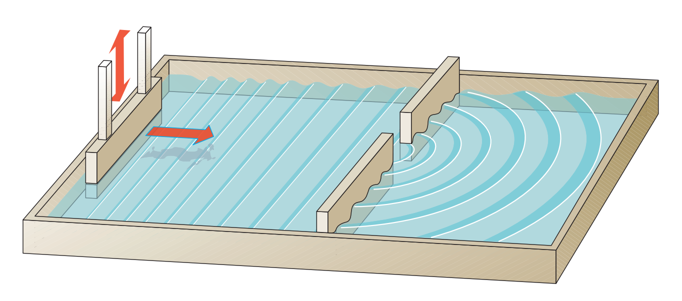
Refracción. En ambas ilustraciones, *i* representa el ángulo de incidencia, y *r*, el ángulo de refracción.

2.3. Difracción de las ondas

Las ondas pueden bordear obstáculos y pasar por agujeros pequeños.

Experimenta

Coloca en la cubeta de ondas un obstáculo recto y liso con una abertura en medio.

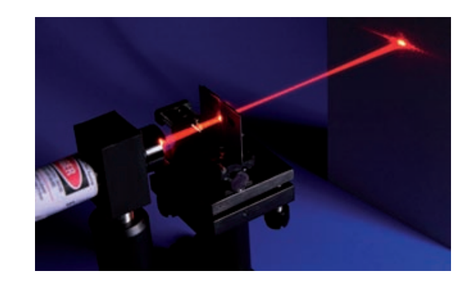


a) ¿Qué ocurre cuando las ondas pasan a través de la abertura?

b) ¿Qué sucede con las ondas si la abertura es más ancha?

Las ondas se distorsionan cuando pasan a través de la abertura, distorsión que será tanto mayor cuanto menor sea la anchura de la abertura.

La **difracción** es el cambio de dirección de propagación que experimenta una onda al encontrar un obstáculo o una abertura de tamaño inferior o igual a su longitud de onda.



La difracción constituye una cualidad, propia del movimiento ondulatorio, que permite averiguar si un fenómeno determinado es o no de naturaleza ondulatoria.

3 Una onda longitudinal: el sonido

El sonido que produce la guitarra se transmite por el aire hasta llegar al oyente.

El sonido es, para los seres humanos y para el resto de los animales, uno de los medios de comunicación más importantes.

Las cuerdas de una guitarra, las cuerdas vocales de las personas, etc., producen vibraciones en el aire que las rodea y este las transmite hasta el oído.

En ausencia de aire o de algún otro medio material que transmita las vibraciones, no sería posible percibir ningún sonido.

3.1. El sonido es un movimiento ondulatorio

Vamos a ver qué es exactamente el sonido y cómo se propaga.

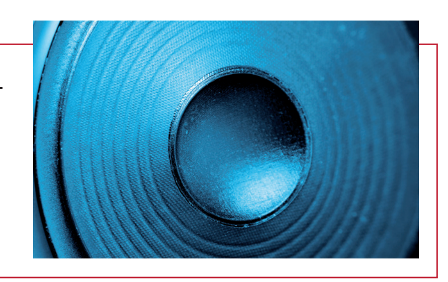
Experimenta

Observa un altavoz de membrana mientras está emitiendo sonido.

a) ¿Qué le ocurre a la membrana?

Acerca ahora tu mano a la membrana.

b) ¿Qué notas?



Si realizas el *Experimenta*, comprobarás que la membrana vibra cuando se emite el sonido por el altavoz.

El sonido tiene su origen en la vibración de los cuerpos.

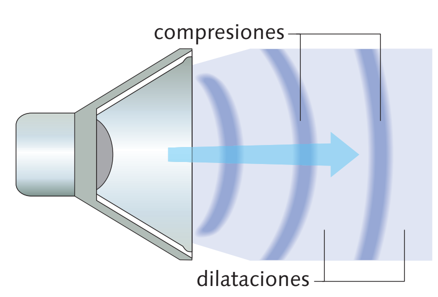
El diapasón

Es un instrumento que consiste en una varilla en forma de «U» que vibra produciendo sonidos muy puros.



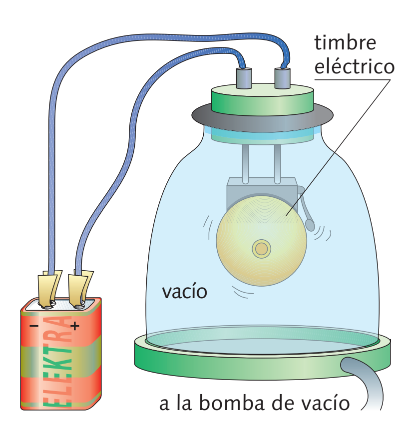
Las vibraciones producidas en el altavoz empujan a las moléculas de aire que se encuentran en su camino y se propagan por este medio a través de compresiones y dilataciones (zonas de mayor y menor presión, respectivamente). El sonido producido es un movimiento ondulatorio.

El **sonido** es una **onda mecánica** porque necesita de un medio material para su propagación y es una **onda longitudinal** porque las partículas del medio oscilan en la misma dirección en que se propaga la onda, emitiendo energía sonora.



El sonido es una onda mecánica y longitudinal.

Si se sitúa un timbre en el interior de un recipiente conectado a una bomba de vacío, al ir extrayendo aire, el sonido se va extinguiendo. Si se deja entrar de nuevo el aire, el sonido vuelve a escucharse.



El sonido no se transmite en el vacío.

3.2. Velocidad de propagación del sonido

Las ondas sonoras se propagan a distinta velocidad según la elasticidad del medio. El sonido se transmite mejor por los sólidos que por los líquidos, y por estos mejor que por el aire.

El sonido se propaga en un mismo medio homogéneo a velocidad constante, es decir, con movimiento uniforme.

La velocidad del sonido en el aire depende de la temperatura, ya que la densidad del aire cambia con dicha magnitud.

3.3. Propiedades del sonido

Las ondas sonoras, como tales, pueden reflejarse y refractarse, lo que origina fenómenos muy interesantes.

Reflexión del sonido

Cuando las ondas sonoras se encuentran con un obstáculo, cambian de dirección y se reflejan. La reflexión del sonido da lugar al **eco** y a la **reverberación.**

- **Eco.** El oído humano es capaz de distinguir dos sonidos si se perciben con una diferencia de una décima de segundo. Para que exista **eco,** la superficie reflectante debe estar alejada, como mínimo, 17 m, ya que el sonido, al propagarse a 340 m/s, recorrerá en una décima de segundo los 34 m del camino de ida y vuelta que hay entre observador y reflector.
- **Reverberación.** Se produce cuando la distancia es menor de 17 m, como ocurre, por ejemplo, en una habitación sin amueblar: el sonido reflejado y el directo se superponen, lo que da lugar a un único sonido prolongado. Se evita instalando materiales aislantes del sonido en las paredes. En principio, la persistencia del sonido en el interior de un recinto a causa de las reflexiones contra las paredes refuerza la intensidad del sonido, pero, si es persistente, un sonido se superpone al emitido a continuación, dificultando la audición. Es una mezcla del fenómeno de la reflexión y de las interferencias.

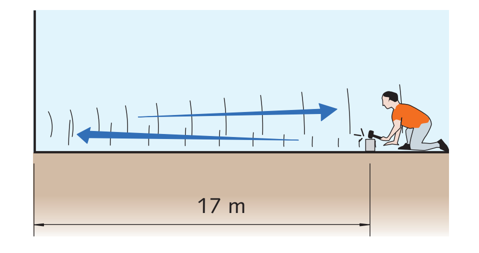
Refracción del sonido

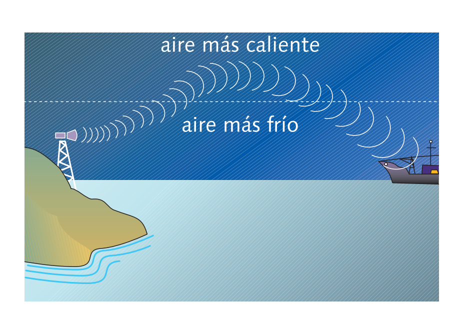
El sonido se refracta al pasar de unas capas de aire a otras con distintas temperaturas. Esto origina una diferencia de densidades y hace, por tanto, que la velocidad de propagación sea diferente.



Medio	Velocidad del sonido (m/s)
Vacío	–
Aire	340
Oxígeno	316
Dióxido de carbono	258
Agua	1 450
Agua de mar	1 531
Hierro	5 100
Aluminio	5 100
Vidrio	5 500

I Compara la velocidad de propagación del sonido en los gases, líquidos y sólidos.





Refracción del sonido.

Actividades

10 La velocidad del sonido aumenta con el incremento de la temperatura. En la siguiente tabla se dan los valores de la velocidad del sonido en el aire a diferentes temperaturas:

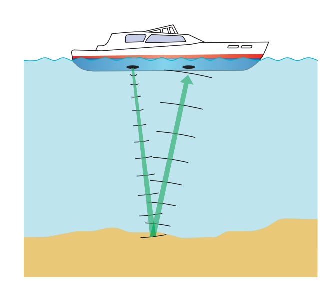
T (°C)	−15	−10	−5	0	5	10	15
v (m/s)	322	325	328	331	334	337	340

Representa los datos en una gráfica velocidad-temperatura. ¿Cómo es la relación entre ambas magnitudes?

11 La velocidad del sonido en el agua del mar es 1 531 m/s. Un buque científico envía una señal de sonar que tarda 0,1 s en regresar.

- ¿A qué profundidad está el fondo del mar?

Solución: 76,55 m



3.4. Cualidades del sonido

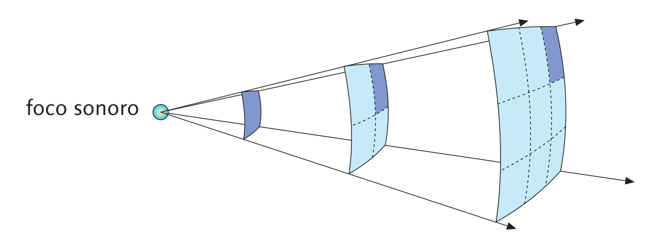
Los sonidos se distinguen por las siguientes cualidades: *intensidad física, tono* y *timbre.*

Intensidad física

La **intensidad física** se define como la energía que pasa en un segundo a través de la unidad de superficie colocada perpendicularmente a la dirección de propagación del sonido.

$$I = \frac{E}{S \cdot t}; \; I = \frac{P}{S}$$

Se expresa en W/m^2.



El sonido se propaga en todas las direcciones y disminuye con el inverso del cuadrado de la distancia.

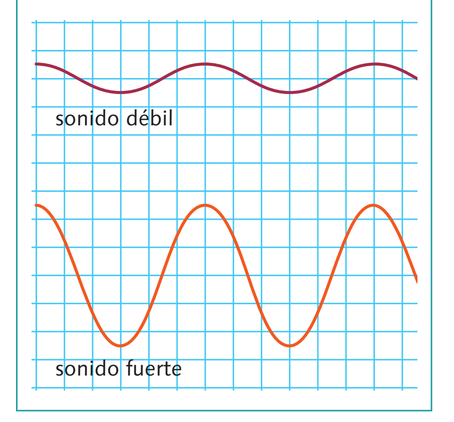
La sensación que se produce en el oído al percibir cierta intensidad de sonido se denomina **nivel de intensidad sonora** o **sonoridad.**

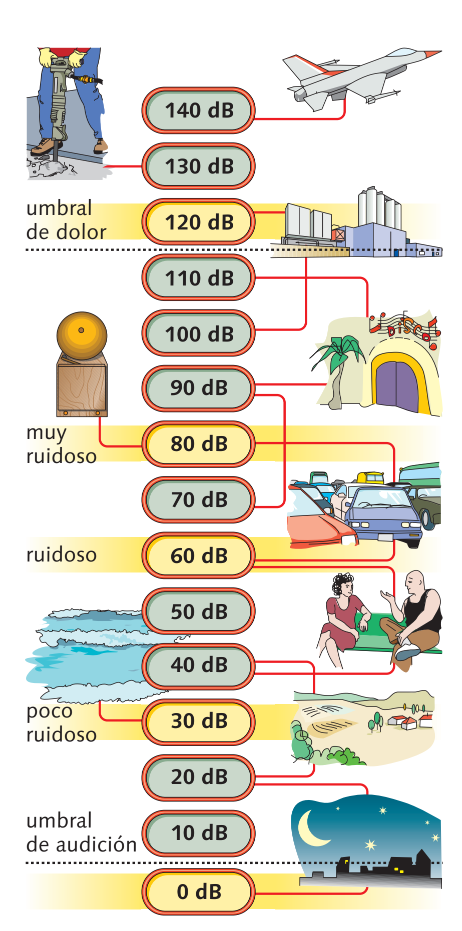
No existe proporcionalidad entre la intensidad física de un sonido y la sonoridad que origina en el oído. Dos fuentes sonoras idénticas que actúan de forma simultánea no producen una sensación doble.

El nivel de intensidad sonora se mide en **decibelios** (dB). El valor cero de sonoridad o **umbral de audición** corresponde a la intensidad física mínima que puede percibir el oído humano. Si la intensidad se hace diez veces mayor, la sonoridad aumenta en 10 dB. La sonoridad máxima que el oído puede tolerar, o **umbral del dolor,** es de 120 dB.

Sonidos fuertes y débiles

La intensidad depende de la amplitud de la onda, lo que nos permite distinguir los **sonidos fuertes** (ondas de gran amplitud) de los **débiles** (ondas de poca amplitud).



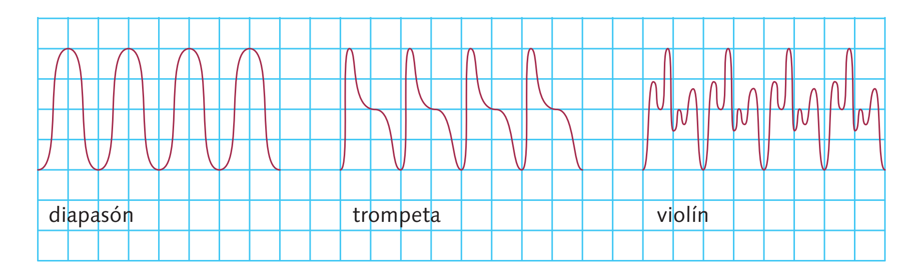


Distintos niveles de intensidad sonora. Puedes obtener más información en http://www.asifunciona.com/tablas/intensidad_sonidos/intensidad_sonidos.htm

Timbre

Dos sonidos de la misma intensidad y del mismo tono pueden diferenciarse por el **timbre,** cualidad que hace posible distinguir una fuente sonora de otra. Si un diapasón, una trompeta y un violín emiten la misma nota, la amplitud y la frecuencia de las tres ondas pueden ser idénticas; sin embargo, se distingue perfectamente un instrumento de otro. *¿A qué se debe esto?*

Fíjate en las siguientes gráficas:



La forma de las ondas, el timbre, es completamente distinta en los tres casos.

Tono

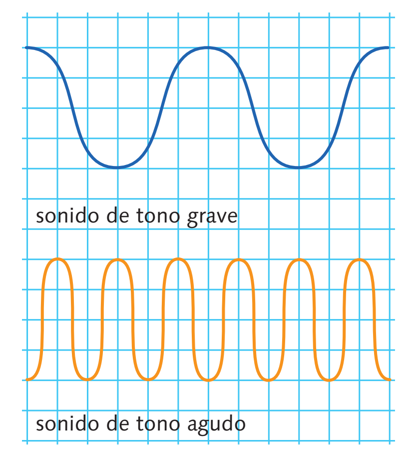
El **tono** permite distinguir los **sonidos agudos** de los **graves.**

El tono de un sonido depende de su frecuencia, que se mide en hercios (Hz).

Los sonidos graves tienen frecuencias pequeñas; los sonidos agudos, elevadas.

El oído humano no percibe todos los sonidos que llegan a él, solo los que poseen frecuencias comprendidas entre 20 Hz y 20 000 Hz.

Los sonidos con frecuencias superiores a 20 000 Hz se denominan **ultrasonidos,** y los que están por debajo de los 20 Hz, **infrasonidos.**



Un sonido grave tiene una longitud de onda más larga que uno agudo.

Sonidos en un piano. Las teclas de la derecha producen sonidos agudos, y las de la izquierda, sonidos graves.

Los ultrasonidos transportan gran cantidad de energía y pueden ser dirigidos en haces estrechos. Gracias a esto poseen muchas **aplicaciones:**

- En medicina se emplean ultrasonidos de baja energía para obtener ecografías y para aliviar dolores de lumbago, tendinitis, etc.; los de alta energía se usan para destruir piedras de la vesícula y del riñón.
- Los ultrasonidos también se usan para estudiar el relieve oceánico, localizar bancos de peces, esterilizar conservas, etcétera.

3.5. Contaminación acústica

La contaminación acústica se genera por el ruido y afecta a la calidad de vida. El nivel máximo de sonido ambiental no debe superar los 65 dB.

Se define como **ruido** cualquier sonido no deseado y calificado como molesto e irritante. Cabe señalar las siguientes diferencias entre el ruido y otros contaminantes:

- Su producción es barata, requiere poca energía y no genera residuos.
- Su radio de acción es inferior al de otros contaminantes.
- No contamina ni el viento ni el agua.
- Se percibe por un único sentido: el oído.

Estas características hacen que los efectos de la contaminación acústica sean subestimados. Sin embargo, dichos efectos son inmediatos y acumulativos. Se dividen en dos grupos:

- Efectos fisiológicos:
  - **Auditivos:** pérdida de audición y sordera.
  - **No auditivos:** afecciones en el riego cerebral, alteraciones en la coordinación del sistema nervioso central, alteraciones del ritmo cardíaco, hipertensión arterial, etcétera.
- Efectos psicológicos:
  - **Sobre el sueño:** a partir de 60 dB se reduce la profundidad del sueño.
  - **Sobre la memoria:** provoca una hiperactividad en el sujeto que origina un descenso de su rendimiento.
  - Estrés, irritabilidad, ansiedad, mal humor, jaqueca, etcétera.

Actividades

12 La sonoridad de un sonido es de 80 dB. Si la intensidad de este sonido se hace diez veces mayor, ¿cuál será el nuevo valor de la sonoridad?

13 Elabora un decálogo de buenas prácticas para evitar la contaminación acústica en tu centro educativo. Distingue entre las medidas activas (eliminan los focos emisores de ruido) y pasivas (amortiguan el ruido sin eliminar el foco emisor) que propones.

4 Una onda transversal: la luz

Las ondas electromagnéticas que pueden detectarse con el sentido de la vista se denominan **luz visible.** Las ondas luminosas, al igual que el resto de las ondas electromagnéticas, se propagan en el vacío; esa es la razón de que podamos ver la luz del Sol y las estrellas.

Todas las ondas electromagnéticas son ondas transversales y las ondulaciones corresponden a vibraciones eléctricas y magnéticas.

La sombra es un fenómeno que demuestra que la luz se propaga en línea recta.

4.1. Propagación de la luz

Cuando se interpone un objeto entre nosotros y el foco de luz no podemos percibir la luz.

La luz se propaga en línea recta.

Realizados numerosos experimentos, se puede afirmar que la luz se propaga en el vacío a la **velocidad aproximada de 300 000 km/s.**

En los demás medios, la velocidad de propagación es tanto menor cuanto mayor sea la densidad del medio.

VELOCIDAD DE LA LUZ EN DIFERENTES MEDIOS	
Vacío (aire)	300 000 km/s
Agua	225 000 km/s
Vidrio	197 000 km/s
Diamante	124 000 km/s

Reflexiona

Por lo que respecta a la luz, las ondas son similares a las del sonido. Son tridimensionales y tienen una frecuencia, una longitud de onda y una velocidad (en este caso la de la luz). Pero, sorprendentemente, no requieren un medio como el agua o el aire para propagarse. La luz del sol y de las estrellas nos llega a pesar de que tiene que atravesar el espacio, que es un vacío casi perfecto. La frecuencia de la luz visible ordinaria (a la que es sensible el ojo humano) es muy alta: alrededor de 600 billones de ondas llegan a nuestros ojos cada segundo.

Carl Sagan
«¿De dónde vienen los colores?»
Muy Interesante

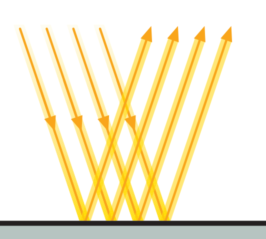
a) El Sol dista $1{,}5 \cdot 10^{11}$ m de la Tierra. ¿Cuánto tarda la luz en viajar desde dicha estrella a nuestro planeta? Si la luz invierte 1,3 s en viajar de la Luna a la Tierra, ¿a qué distancia nos encontramos de nuestro satélite?

b) ¿En qué se diferencia la luz de las demás ondas estudiadas hasta ahora?

c) A partir del dato de la velocidad de la luz, calcula el período y la longitud de onda de la luz del sol y de las estrellas que nos llega a través del espacio.

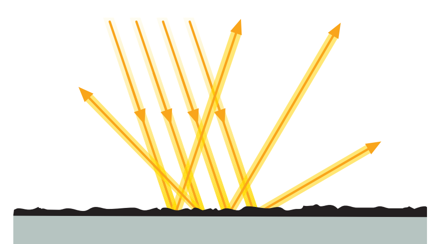
4.2. Reflexión de la luz

La **reflexión de la luz** es el cambio de dirección que experimenta un rayo luminoso al chocar contra la superficie de los cuerpos. La luz reflejada sigue propagándose por el mismo medio.



Reflexión especular. Los rayos luminosos salen reflejados en una misma dirección.

Si la superficie reflectora es lisa, los rayos luminosos que llegan a ella salen reflejados en paralelo y en una misma dirección. Esta reflexión se denomina **especular.**

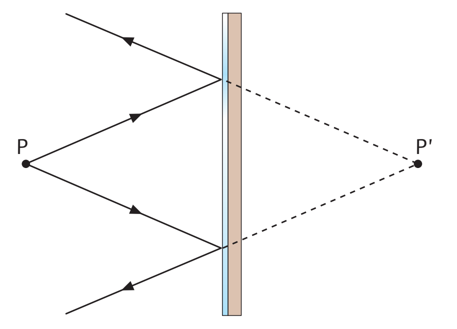


Reflexión difusa. Los rayos luminosos salen reflejados en todas las direcciones.

Si la superficie reflectora es rugosa, se producen reflexiones en todas las direcciones. Este tipo de reflexión se denomina **difusa.** Gracias a este fenómeno es posible ver los objetos que no emiten luz propia.

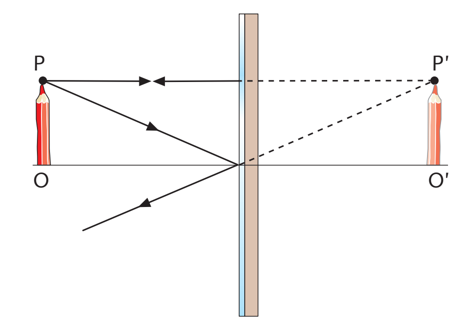
Imágenes en espejos planos

Los **espejos planos** son superficies planas, lisas y pulimentadas, capaces de reflejar en una sola dirección un haz de rayos paralelos.



Para situar la imagen de un punto luminoso *P* (punto objeto), nos fijaremos en dos de los rayos que alcanzan el espejo. Observa que ambos rayos se reflejan y sus prolongaciones concurren en el punto *P'* (punto imagen). Las prolongaciones de todos los demás rayos coincidirán en ese punto. Por formarse en las prolongaciones de los rayos, la **imagen** se llama **virtual.** Al observador le parecerá que los rayos reflejados que le llegan provienen de «detrás del espejo».

Para formar la imagen de un objeto finito como un lápiz, hallaremos por separado la de sus dos puntos extremos *O* y *P*, como se muestra en el dibujo.





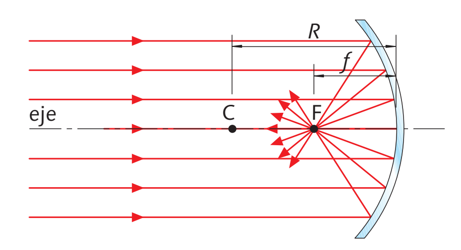
Imágenes en espejos esféricos

Los **espejos esféricos** son superficies esféricas, lisas y pulimentadas por su cara interior (espejo cóncavo) o por su cara exterior (espejo convexo).

Los elementos de un espejo esférico son el eje del espejo, el centro de curvatura *(C)*, el foco *(F)*, el radio de curvatura *(R)* y la distancia focal *(f)*.

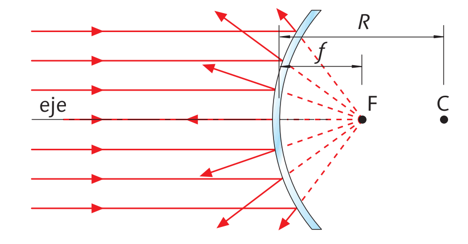
Espejo cóncavo

Los rayos que llegan paralelos a él convergen en un punto, denominado **foco del espejo,** situado entre el centro de curvatura de la esfera y el espejo.



Espejo convexo

Los rayos paralelos que inciden en él convergen en un punto que, si prolongamos los rayos reflejados, se sitúa detrás del espejo. Ese punto es el **foco del espejo.**



Actividades

14 Un haz de rayos luminosos incide en un espejo plano con un ángulo de incidencia de 30°.

a) Dibuja la trayectoria de los rayos reflejados por el espejo.

b) ¿Cuánto vale el ángulo de reflexión?

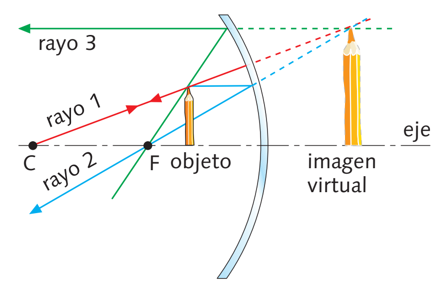


Imagen virtual en un espejo cóncavo.

Formación de imágenes en espejos esféricos

Para dibujar la imagen reflejada en un espejo esférico se sigue este procedimiento:

1. Se traza un rayo desde la parte superior del objeto, que pase por el centro de curvatura, *C*. Este se refleja sobre sí mismo.
2. Se dibuja otro rayo desde la parte superior del objeto que sea paralelo al eje principal del espejo. Este se refleja en el espejo y pasa por el foco, *F*.
3. Se traza un rayo desde la parte superior del objeto, que pase por el foco, *F*. El rayo reflejado es paralelo al eje del espejo.

Solo son necesarios dos de estos rayos para la construcción geométrica de la imagen.

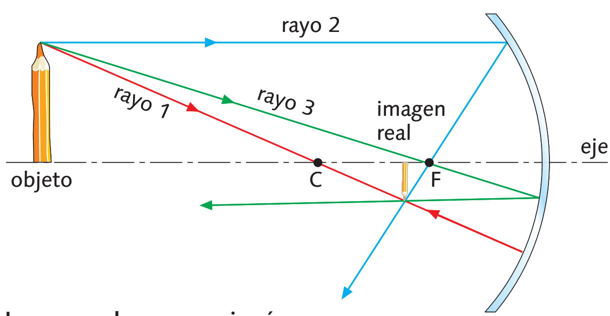


Imagen real en un espejo cóncavo.

Imagen virtual en un espejo convexo.

ÍNDICE DE REFRACCIÓN DE DISTINTAS SUSTANCIAS	
Vacío (aire)	1
Agua	1,33
Cuarzo	1,46
Diamante	2,42

4.3. Refracción de la luz

Cuando la luz se propaga por un medio transparente distinto del vacío, lo hace siempre a una velocidad menor.

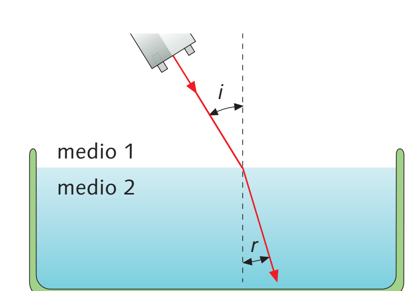
La **refracción de la luz** es el cambio de dirección que experimenta un rayo luminoso al pasar de un medio a otro en el que se propaga a distinta velocidad.

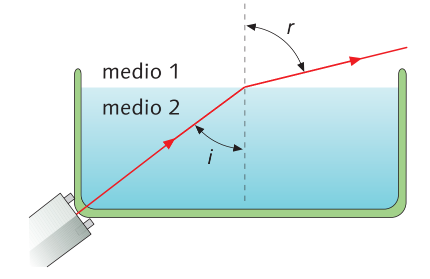
Para entender los fenómenos de refracción, es preciso introducir el **índice de refracción** de un medio, que es el cociente entre la velocidad de la luz en el vacío, *c*, y la velocidad de la luz en ese medio, *v*. Se representa con la letra *n* y carece de unidades, pues es el cociente de dos velocidades.

$$n = \frac{c}{v}$$

La **ley de Snell** establece que existe una relación constante entre el seno del ángulo de incidencia y el de refracción, que es igual al cociente entre las respectivas velocidades de propagación de la onda en los dos medios:

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$





Actividades

15 Dibuja dónde y cómo se formará la imagen en un espejo esférico cóncavo si el objeto está situado: ***a)*** más allá del centro de curvatura; ***b)*** entre el centro de curvatura y el foco; ***c)*** en el foco; ***d)*** entre el foco y el espejo.

16 Repite la actividad anterior para el caso de un espejo esférico convexo.

17 Calcula la velocidad de propagación de la luz en el agua, el vidrio y el diamante, conocidos los índices de refracción de estas sustancias.

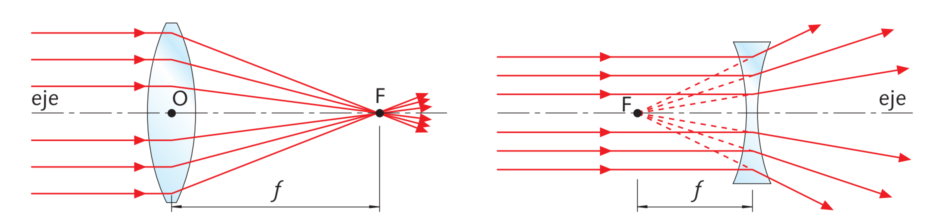
Lentes

Una **lente** es un medio transparente, homogéneo e isótropo, limitado por dos superficies curvas o por una plana y otra curva.

Las lentes se pueden encontrar en gafas, lupas, prismáticos, objetivos de cámaras, etcétera.

Hay dos tipos fundamentales de lentes: **convergentes** y **divergentes.** Las primeras están curvadas hacia fuera y desvían la luz hacia su interior. Las segundas están curvadas hacia dentro y desvían la luz hacia fuera.

Si un haz de rayos paralelos incide perpendicularmente en una lente **convergente,** esta los desvía de manera que pasen todos por un punto denominado foco, *F*. La distancia desde este punto al centro de la lente o centro óptico, *O*, se llama **distancia focal, *f*.**



Cuando los rayos de luz pasan por una lente divergente, esta los separa, pero el ojo los percibe como si hubieran viajado en línea recta y crea una imagen virtual.

Formación de imágenes a través de lentes

Para formar imágenes en las lentes, se utiliza este procedimiento:

1. Se traza un rayo paralelo desde la parte superior del objeto hasta la lente; el rayo se refracta y pasa por el foco de esta.
2. Se traza, desde la parte superior del objeto, otro rayo que pase por el centro óptico de la lente. Si esta es delgada (de poco espesor), el rayo no se desvía.

En el punto de corte de los dos rayos (o de sus prolongaciones) se sitúa la parte superior de la imagen.

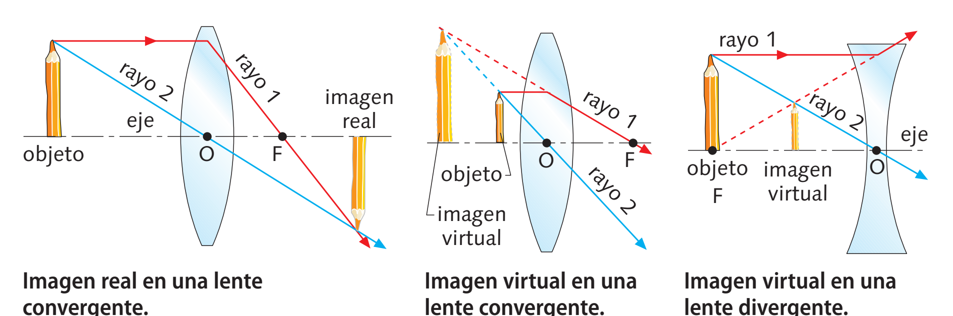
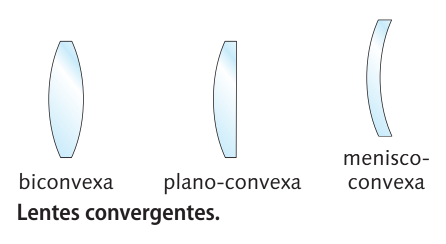


Imagen real en una lente convergente. **Imagen virtual en una lente convergente.** **Imagen virtual en una lente divergente.**

Actividades

18 Dibuja la formación de una imagen en una lente convergente si el objeto está situado: ***a)*** más allá del centro de curvatura; ***b)*** en el centro de curvatura; ***c)*** entre el centro de curvatura y el foco; ***d)*** en el foco; ***e)*** entre el foco y el centro óptico de la lente.

19 Dibuja la formación de una imagen en una lente divergente.



Lentes convergentes.



Lentes divergentes.

Lee y contesta

Potencia de una lente

Se llama **potencia de una lente** al inverso de su distancia focal, *f*, expresada en metros. La potencia de una lente se mide en **dioptrías:**

$$\text{potencia} = \frac{1}{f}$$

Cuanto menor sea la distancia focal de una lente, mayor será su potencia.

La potencia de una lente convergente es positiva y la de una lente divergente es negativa.

I ¿Cuál es la potencia de una lente cuya distancia focal es 1 m?

II ¿Cuál es la distancia focal de una lente cuya potencia es 4 dioptrías?

4.4. El prisma óptico y el espectro visible

Un **prisma óptico** es un medio transparente, homogéneo e isótropo limitado por caras planas no paralelas.

Un rayo de luz blanca, de una determinada longitud de onda, que incide sobre una de las caras del prisma —cuyo índice de refracción es mayor que el del aire— experimenta una refracción de tal manera que el rayo refractado se acerca a la normal. Al salir del prisma este nuevo rayo, sucede lo contrario: el rayo refractado saliente se aleja de la normal.

Cuando un haz de rayos de luz blanca (luz natural) atraviesa un prisma óptico, se descompone en las distintas radiaciones que componen la luz blanca. Esto se debe a que las radiaciones no se propagan en el interior del prisma a la misma velocidad, sino que esta depende de la longitud de onda de la radiación; por tanto, las radiaciones emergen del prisma con distinto ángulo de refracción.

Este fenómeno, descubierto por **Isaac Newton** en 1665, se conoce con el nombre de dispersión de la luz blanca; el conjunto de colores que origina se denomina **espectro visible** de la luz blanca. El arco iris es el resultado de la dispersión de la luz solar en las gotas de agua presentes en la atmósfera.

La luz blanca se descompone en los colores del arco iris al atravesar un prisma. Puedes encontrar más información en http://www.educar.org/enlared/planes/optica/dispersion.htm

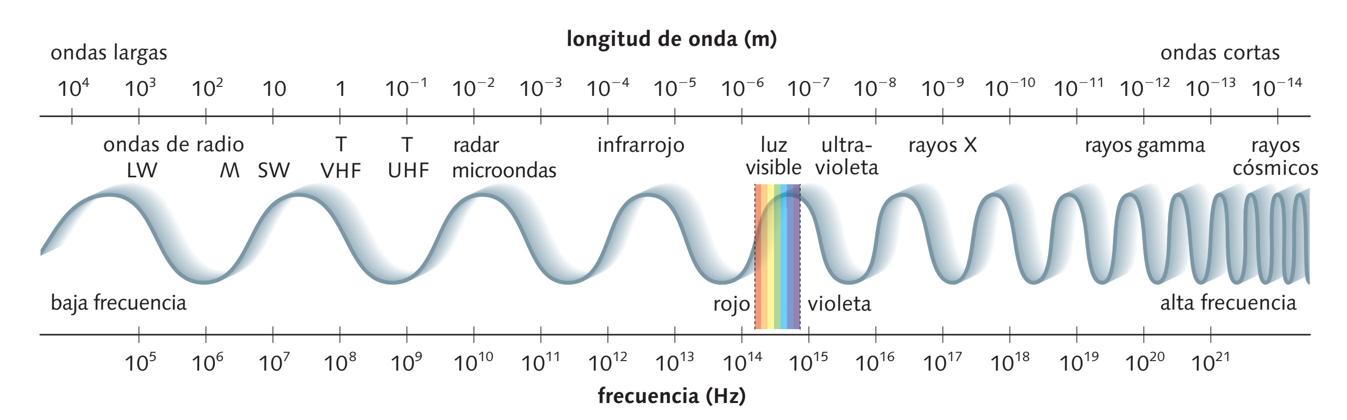
4.5. El espectro electromagnético

En 1801, **Wilhelm Ritter** utilizó unas tiras empapadas en nitrato de plata para investigar la energía de las diferentes partes del espectro visible. Cuando la luz incide sobre el nitrato de plata, se producen diminutos granos de plata de aspecto negruzco. Ritter estudió lo que sucedía con estas tiras más allá del color violeta, donde ya no se aprecia la luz visible, y comprobó que el oscurecimiento de las tiras era más rápido e intenso que en ninguna otra zona del espectro. Ritter había descubierto la **radiación ultravioleta.**

Por su parte, en 1800, **William Herschel** estudió la relación existente entre el color y la temperatura. Formó un espectro de luz visible con un prisma y proyectó todos los colores en una pantalla a través de cuya rendija pasaba solo uno de ellos. Hizo que cada color incidiera sobre un termómetro y anotó la temperatura que iban marcando. Así, observó que el violeta producía la temperatura más baja, y el rojo, la más alta. Lo sorprendente fue que la temperatura más elevada de todas se daba más allá del rojo, donde ya no se aprecia luz alguna. Herschel había descubierto la radiación **infrarroja.**

Experimento de William Herschel. Puedes encontrar más información en http:/legacy.spitzer.caltech.edu/espanol/edu/herschel/backyard.shtml

La luz visible y las radiaciones infrarroja y ultravioleta forman parte de un amplio espectro de ondas llamado **espectro electromagnético.**



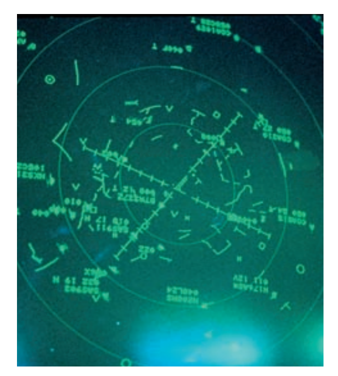
Aplicaciones del espectro electromagnético

Ondas de radio

Su longitud de onda oscila entre 1 mm y varios kilómetros de longitud. Los radares y las radios funcionan en distintas bandas de radio. Además, existen estrellas y galaxias que emiten estas radiaciones, detectadas por telescopios especiales. Las ondas de radio se utilizan en la comunicación. Una forma de añadir sonido a las ondas de radio es cambiar la amplitud y dejar constante la frecuencia: esto se denomina **modulación de amplitud (AM).** Otra forma de transmitir sonido por radio es mantener constante la amplitud y hacer que cambie la frecuencia: a esto se le llama **modulación de frecuencia (FM).**



Los radiotelescopios detectan las ondas de radio y aportan información sobre el universo.



El radar hace uso de ondas de radio cortas.

Microondas

El espacio está impregnado de radiación de microondas de baja intensidad. Los haces de microondas proporcionan vías de comunicación que sustituyen a los cables telefónicos. En el horno microondas la comida absorbe las radiaciones y se calienta en poco tiempo.

Rayos infrarrojos

Son emitidos por los cuerpos calientes. Nuestro cuerpo irradia radiaciones infrarrojas cuya frecuencia depende de la parte del cuerpo en cuestión. Un **termograma** es una fotografía en la que la radiación infrarroja se transforma en visible, lo que permite detectar, por ejemplo, tumores, que aparecen «más calientes» que los tejidos sanos.



Los seres humanos emiten radiación infrarroja.

Rayos ultravioleta

Transportan más energía que las ondas de luz y es la radiación que genera el bronceado, aunque una exposición prolongada puede producir quemaduras y cáncer de piel. La radiación ultravioleta se utiliza para tratar algunas enfermedades de la piel y para desinfectar aparatos y utensilios.



Las cámaras de bronceado mediante rayos ultravioleta pueden resultar perjudiciales para la salud.

Ondas de televisión

Los sonidos e imágenes de la televisión analógica son transportados mediante ondas cortas de radio de menos de 1 m de longitud de onda.

Rayos X

Son capaces de atravesar las partes blandas del cuerpo, pero no los huesos. Pueden ser detectados por el papel fotográfico. El **TAC** (tomógrafo axial computarizado por rayos X) revela más información que una simple radiografía.



Rayos X.

Rayos gamma

Tienen longitudes de onda muy cortas. Constituyen una forma de radiactividad. Transportan gran cantidad de energía y pueden atravesar los metales y el hormigón. Los rayos gamma se utilizan en medicina para el tratamiento del cáncer. La **cámara de rayos gamma** permite detectar tumores y zonas donde el flujo sanguíneo es irregular.



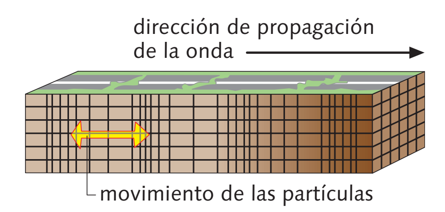
Cámara de rayos gamma.

Rayos cósmicos

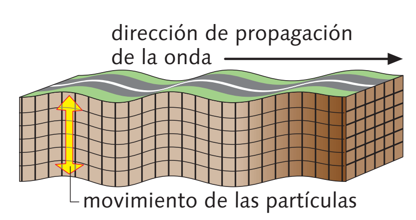
Es la radiación más energética que se conoce. La radiación cósmica bombardea la Tierra desde el espacio. La atmósfera nos protege de la mayor parte de las radiaciones peligrosas.

Movimiento ondulatorio

- Un **movimiento ondulatorio** es la propagación de un movimiento vibratorio.
- Una **onda** es la posición que adopta en cada instante la perturbación que se ha producido.
- En un movimiento ondulatorio se propaga energía pero no materia.
- Las **ondas mecánicas** u **ondas materiales** se originan al producirse una perturbación en un medio elástico, sin el cual no existiría la propagación. Las **ondas electromagnéticas** se pueden propagar también en el vacío.
- Las **ondas longitudinales** son aquellas en las que las vibraciones de las partículas en torno a su punto de equilibrio se producen en la misma dirección que la de la propagación de las ondas.



- Las **ondas transversales** son aquellas en las que las vibraciones de las partículas en torno a su punto de equilibrio se producen en dirección perpendicular a la de la propagación de las ondas.



- Un **frente de onda** es la línea o la superficie formada por los puntos que han sido alcanzados por la perturbación en un mismo instante. Un **rayo** es una línea imaginaria perpendicular al frente de onda.

Magnitudes características de las ondas

- La **velocidad de propagación, *v*,** es la distancia que la onda recorre en la unidad de tiempo.
- La **longitud de onda, *λ*,** es la distancia que separa dos puntos consecutivos de dicha onda que vibran de idéntica manera.
- El **período, *T*,** es el tiempo que tarda un punto en realizar una vibración completa.
- La **frecuencia, *f*,** es el número de vibraciones que realiza un punto en la unidad de tiempo. Es la inversa del período.
- La **amplitud, *A*,** es la separación máxima que alcanza, desde la posición de equilibrio, cada uno de los puntos oscilantes del medio.
- La relación entre los parámetros que definen una onda es:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f$$

- La **intensidad, *I*,** de un movimiento ondulatorio es la cantidad de energía que pasa, en la unidad de tiempo, a través de la unidad de superficie colocada perpendicularmente a la dirección de propagación. Equivale a la potencia por unidad de superficie y se expresa en W/m^2.

$$I = \frac{P}{S}$$

Fenómenos ondulatorios

- La **reflexión** es el cambio de dirección que experimenta un tren de ondas al chocar con una superficie lisa sin atravesarla.
- La **refracción** consiste en el cambio de velocidad que experimenta un tren de ondas al pasar de un medio a otro de distinta profundidad o densidad.
- La **difracción** es el cambio de dirección de propagación que experimenta una onda al encontrar un obstáculo o una abertura de tamaño inferior o igual a su longitud de onda.

Una onda longitudinal: el sonido

- El **sonido** es una vibración que necesita un medio elástico para propagarse.
- El sonido se propaga en un mismo medio homogéneo a velocidad constante y se transmite mejor por los sólidos que por los líquidos, y por estos mejor que por el aire.
- Los sonidos se distinguen por su intensidad física, su tono y su timbre.
- La sonoridad es la sensación que se produce en el oído al percibir cierta intensidad de sonido. El nivel de intensidad se mide en decibelios (dB).

Una onda transversal: la luz

- Las **ondas luminosas,** al igual que el resto de las ondas electromagnéticas, no necesitan un medio elástico para propagarse: se propagan en el vacío. Son ondas transversales.
- La luz se propaga en línea recta.
- Los espejos planos son superficies planas, lisas y pulimentadas, capaces de reflejar en una sola dirección un haz de rayos paralelos.
- Los espejos esféricos son superficies esféricas, lisas y pulimentadas. Pueden ser cóncavos o convexos.
- Una **lente** es un medio transparente, homogéneo e isótropo, limitado por dos superficies curvas o por una plana y otra curva.
- Un **prisma óptico** es un medio transparente, homogéneo e isótropo limitado por caras planas no paralelas.
- Cuando un haz de luz blanca atraviesa un prisma óptico, se descompone en el espectro visible de la luz blanca.
- La luz visible y las radiaciones ultravioleta e infrarroja forman parte del espectro electromagnético.

Elabora un mapa conceptual con los principales contenidos de la unidad.

Magnitudes características de las ondas

1. **Una ola del mar se propaga a una velocidad de 0,4 m/s. Halla la frecuencia y el período del movimiento si la longitud de onda es 10 cm.**

Interpretación del enunciado

Se trata de calcular la frecuencia y el período de una onda, dada su velocidad de propagación y su longitud de onda.

Resolución del problema

La relación que existe entre la velocidad, la longitud de onda y la frecuencia del movimiento es $v = \lambda \cdot f$, luego:

$$f = \frac{0{,}4\ \text{m/s}}{0{,}1\ \text{m}} = 4\ \text{Hz}$$

El período es la inversa de la frecuencia:

$$T = \frac{1}{f} = 0{,}25\ \text{s}$$

2. **Si el Sol posee una potencia aproximada de emisión de $3 \cdot 10^{20}$ MW y sabemos que la distancia media Tierra-Sol es $1{,}5 \cdot 10^{11}$ m, ¿qué intensidad luminosa recibimos sobre la superficie terrestre?**

Interpretación del enunciado

Se trata de averiguar la intensidad de un movimiento ondulatorio que atraviesa una esfera, conocida la potencia y el radio de la esfera.

La potencia expresada en vatios es $3 \cdot 10^{26}$ W y la esfera tiene por radio la distancia Tierra-Sol; la superficie de la esfera es $4\pi r^2$.

Resolución del problema

Utilizamos la ecuación de la intensidad:

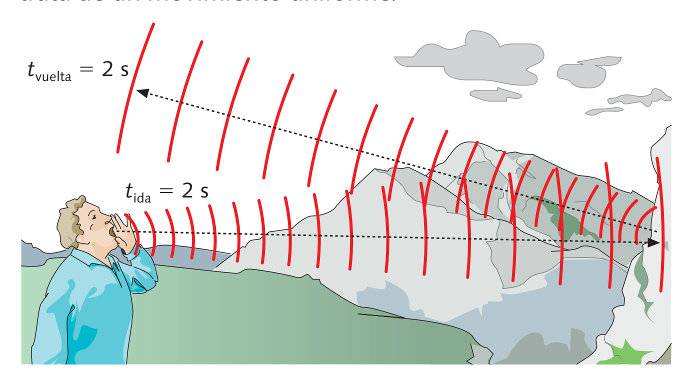
$$I = \frac{P}{S} = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{3 \cdot 10^{26}\ \text{W}}{4\pi (1{,}5 \cdot 10^{11})^2\ \text{m}^2} = 1\,061\ \text{W/m}^2$$

Una onda longitudinal: el sonido

3. **Un excursionista da un grito y 4 s después percibe el eco de su voz producido en una montaña. ¿A qué distancia se encuentra la montaña del excursionista? Dato: velocidad del sonido = 340 m/s**

Interpretación del enunciado

El sonido se propaga a una velocidad constante, luego se trata de un movimiento uniforme.



El tiempo que el grito del excursionista tarda en llegar hasta la montaña es el mismo que invierte el eco en volver hacia él, es decir, 2 s en cada caso.

Resolución del problema

Para resolver este problema aplicamos la ecuación del movimiento rectilíneo y uniforme:

$$s = v \cdot t = 340\ \text{m/s} \cdot 2\ \text{s} = 680\ \text{m}$$

Una onda transversal: la luz

4. **Dibuja la marcha de los rayos en una lente convergente cuando el objeto (por ejemplo, un lápiz) está situado entre el foco y la lente. ¿Qué características tiene la imagen formada?**

Interpretación del enunciado

Se trata de realizar la construcción, mediante rayos, de una imagen en una lente convergente cuando el objeto se halla entre el foco y la lente.

Por supuesto, es imprescindible la realización de un esquema gráfico.

Resolución del problema

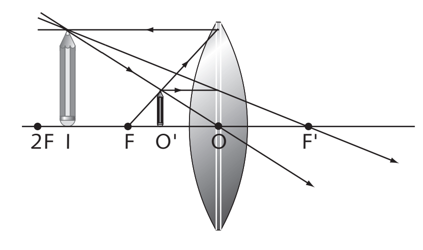
Comenzamos dibujando una lente convergente y el eje de la misma.

A continuación, situamos sobre el eje el centro de la lente, *O*, los dos centros de curvatura *C* y *C'*, y los dos focos *F* y *F'*, teniendo en cuenta que estos se encuentran a la mitad de distancia desde los centros de curvatura a las caras respectivas de la lente.

Después, dibujamos el objeto entre *F* y la lente.

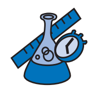
El procedimiento para formar la imagen es el siguiente:

1. Trazamos un rayo paralelo al eje de la lente desde el extremo de la punta del lápiz hasta la lente; este rayo atraviesa la lente y, al salir de ella, se refracta y pasa por *F'*.
2. Trazamos otro rayo que parte del extremo de la punta del lápiz y pasa, sin desviarse, por *O*, el centro de la lente. Observamos en el dibujo que los dos rayos que hemos trazado no se cortan, pero sí lo hacen sus prolongaciones.
3. Dibujamos las prolongaciones mediante líneas de puntos.
4. El punto donde se cortan las prolongaciones es el extremo de la imagen formada.



La imagen formada es virtual (se forma por la intersección de las prolongaciones), derecha y de mayor tamaño que el objeto.

El método científico



Experimenta y analiza los resultados

1 Con un montaje experimental como el de la página 162 medimos el ángulo de incidencia de un rayo láser en el aire y el ángulo de refracción en el vidrio.

Sustancia	Ángulo de incidencia en el aire	Ángulo de refracción	Seno del ángulo de incidencia	Seno del ángulo de refracción	$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r}$
Vidrio	15°	9,43°	0,259	0,164	
	30°	18,4°	0,500	0,316	
	45°	26,6°	0,707	0,448	

a) Completa en tu cuaderno la casilla en la que aparece el cociente entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción.

b) ¿Cómo es este cociente? ¿Qué relación guarda con la velocidad de la luz en ambos medios?

c) ¿Qué sucede cuando el ángulo de incidencia es de 0°?

El enunciado de una ley

2 Si se repite la experiencia anterior con otra sustancia (por ejemplo, el agua), obtenemos los siguientes resultados:

Sustancia	Ángulo de incidencia en el aire	Ángulo de refracción	Seno del ángulo de incidencia	Seno del ángulo de refracción	$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r}$
Agua	15°	11,23°	0,259	0,195	
	30°	22°	0,500	0,375	
	45°	32°	0,707	0,530	

a) Completa en tu cuaderno la casilla en la que aparece el cociente entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción.

b) Compara los resultados de las dos experiencias. ¿Qué ley sobre la refracción de la luz puedes enunciar a la vista de estos resultados? ¿Qué nombre recibe esta ley?

c) Justifica, de acuerdo con esta ley, por qué cuando se introduce una pajita dentro de un vaso con agua, parece que la pajita se dobla.

d) Calcula la velocidad de la luz en el agua y en el vidrio.

Movimiento ondulatorio

3 Clasifica las siguientes ondas según los criterios que se citan en el texto:

a) Ondas en la superficie del agua.

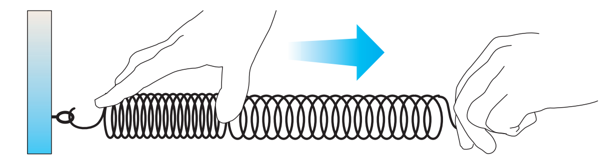
b) Ondas sonoras.

c) Ondas en una cuerda.

d) Ondas luminosas y electromagnéticas en general.

e) Ondas de compresión en un muelle.

4 Dibuja en cuatro pasos la propagación de la perturbación de este muelle. ¿De qué tipo de onda se trata?



5 Di si los siguientes enunciados son verdaderos o falsos:

a) Los pulsos de ondas en las cuerdas corresponden a ondas longitudinales.

b) Las ondas sonoras en el aire son ondas transversales.

c) Un movimiento ondulatorio es la propagación de un movimiento vibratorio.

d) Las ondas mecánicas se propagan en el vacío.

e) En un movimiento ondulatorio se transmite energía.

f) En un movimiento ondulatorio se transporta materia.

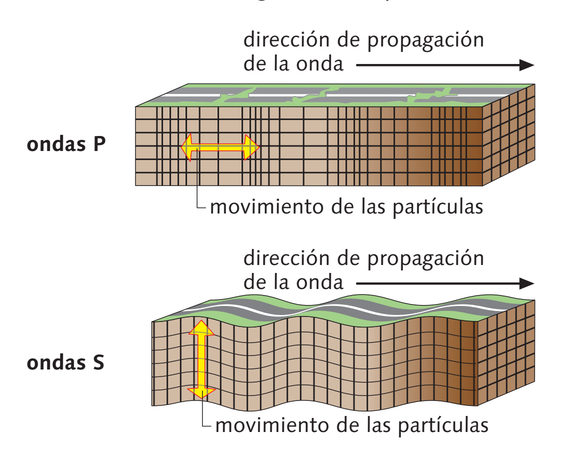
6 ¿Qué nombre reciben las ondas en las que las vibraciones de las partículas en torno a su punto de equilibrio se producen en la misma dirección que la de la propagación de las ondas: longitudinales o transversales?

7 ¿Qué es un frente de onda? Dibuja los frentes de onda esféricos alrededor de un foco puntual. ¿Cómo son estos frentes de onda en puntos muy alejados del foco?

8 Relaciona cada definición con cada uno de los siguientes conceptos: ***a)*** onda transversal; ***b)*** onda; ***c)*** movimiento ondulatorio; ***d)*** frente de onda; ***e)*** onda mecánica; ***f)*** onda longitudinal; ***g)*** tren de ondas.

1. Propagación de un movimiento vibratorio. **2.** Posición que ocupa en cada instante la perturbación producida. **3.** Onda que necesita un medio elástico para propagarse. **4.** Onda en la que la dirección de vibración de las partículas coincide con la de propagación de la onda. **5.** Onda en la que la dirección de vibración de las partículas es perpendicular a la de la propagación de la onda. **6.** Es una sucesión de crestas y valles. **7.** Superficie formada por los puntos alcanzados por la perturbación en un mismo instante.

9 Observa en el dibujo cómo son en las ondas sísmicas P y S las direcciones de vibración y de propagación entre sí y clasifica estas ondas en longitudinales y transversales.



10 Lee atentamente este texto y responde a las cuestiones que se plantean a continuación.

Una ola es una cosa extraña. Cuando ustedes observan las olas que vienen hacia la playa, están viendo algo que se mueve sobre el agua y que, al mismo tiempo, no es básicamente un movimiento del agua. Pueden convencerse de ello agarrando un trozo de madera y lanzándolo más allá del punto donde rompen las olas. A medida que cada cresta se mueve verán la madera subir y bajar. La madera flotante está aprisionada en el agua que la rodea y su movimiento es el mismo que el del agua. De este experimento concluimos que el paso de la ola provoca que el agua se mueva principalmente arriba y abajo. Y, sin embargo, vemos que la propia ola se mueve hacia la costa. La ola se mueve en una dirección mientras el agua se mueve en otra. Aunque, obviamente, la ola no podría existir si el agua no estuviera ahí, es algo más que simplemente agua moviéndose. Es un movimiento organizado y colectivo de partículas de agua, un movimiento que se comporta de acuerdo con sus propias leyes.

J. S. Trefil
Un científico a la orilla del mar

a) ¿Qué movimiento se describe en el texto?

b) ¿Cómo justifica el autor el hecho de que la materia no se desplaza en este movimiento?

c) ¿Cuál es la dirección del movimiento del agua?

d) ¿Cuál es la dirección de propagación de la ola?

e) Clasifica este movimiento de acuerdo con los criterios de clasificación que conoces.

Magnitudes características de las ondas

11 Indica qué nombre recibe el tiempo que tarda un frente de onda en recorrer una longitud de onda:

a) Amplitud. ***b)*** Frecuencia. ***c)*** Período.

12 En la superficie de un estanque se forma una onda que tiene una longitud de 5 cm y una frecuencia de 10 Hz. ¿A qué velocidad se propaga la onda? **Solución:** 0,5 m/s

13 Calcula la velocidad a la que se propaga una onda de radio si su longitud de onda es de 20 m y su frecuencia es $1,5 \cdot 10^7$ Hz. **Solución:** $3 \cdot 10^8$ m/s

14 ¿Cuál es la frecuencia de un movimiento ondulatorio de 5 cm de longitud de onda si se propaga a una velocidad de 200 m/s? **Solución:** 4 000 Hz

15 La longitud de onda de un movimiento ondulatorio es de 2 m. Si la partícula que está en el foco vibra con un período de 0,1 s, ¿a qué velocidad se propaga este movimiento ondulatorio? **Solución:** 20 m/s

16 **D** La unidad de la velocidad del sonido en el aire se denomina, en aeronáutica, **mach.** ¿Cuál es la velocidad en km/h de un avión si su velocidad es de 1 mach?

Solución: 1 224 km/h

17 El período de un movimiento vibratorio es de 0,02 s. ¿Cuál es su frecuencia? ¿Cuántas vibraciones se producen en 2 min? **Solución:** 50 Hz; 6 000 vibraciones

18 Un avión emite un sonido de 2 500 W. Calcula la intensidad con la que se recibe dicho sonido a 2 km de distancia.

Solución: $5 \cdot 10^{-5}$ W/m^2

Fenómenos ondulatorios

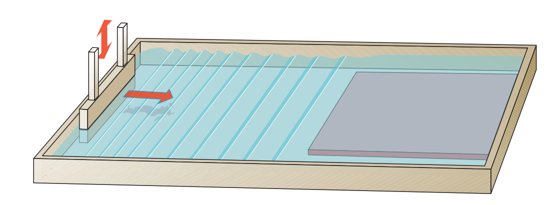
19 Explica las diferencias entre la reflexión y la refracción de las ondas.

20 Un frente de ondas generado en una cubeta de ondas pasa de una zona más profunda a otra menos profunda, como se muestra en el dibujo.

a) ¿Qué le ocurre al frente de ondas?

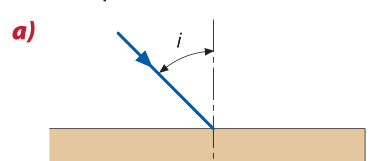
b) ¿Qué sucede con la velocidad de las ondas?

c) Dibuja un diagrama que ilustre el comportamiento de las ondas.

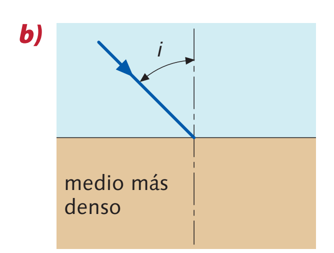


21 Completa en tu cuaderno estos dibujos:

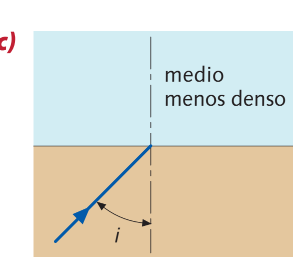
a)



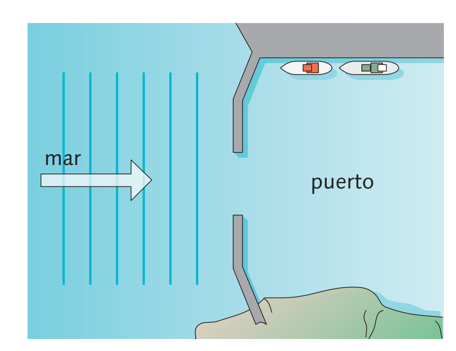
b)



c)



22 Unas olas se acercan al puerto como se ve en el dibujo.



a) ¿Qué les sucederá a estas olas? Dibuja un diagrama que ilustre su comportamiento.

b) ¿Qué sucedería si la abertura del puerto fuera mayor? Dibuja el diagrama para una abertura mayor.

23 Discute la veracidad o no de las frases siguientes:

a) La reflexión es el cambio de velocidad que experimenta un tren de ondas al chocar con una superficie lisa sin atravesarla.

b) Cuando una onda pasa de un medio más denso a otro menos denso, el rayo refractado se acerca a la normal.

c) El ángulo de incidencia y el ángulo de refracción son iguales.

Una onda longitudinal: el sonido

24 Una soprano tiene un tono de 1 300 Hz. ¿Cuál es la longitud de onda de su canto en el aire si la velocidad de la onda es de 332 m/s? **Solución:** 25,5 cm

25 Un cazador hace un disparo y 2,5 s después percibe su eco producido en una montaña. ¿A qué distancia de esta se halla el cazador? **Solución:** 425 m

26 Una onda sonora penetra en el agua formando cierto ángulo con la vertical. ¿Se acercará o se alejará de la normal la onda refractada?

27 D ¿Podría oírse desde la Tierra la caída de un meteorito gigantesco sobre la Luna? Razona tu respuesta.

28 Contando los segundos que transcurren desde que ves un rayo hasta que oyes el trueno, ¿puedes saber a qué distancia te encuentras de la tormenta?

29 Calcula la longitud de onda en el aire de un infrasonido de 17 Hz y de un ultrasonido de 34 000 Hz.

Solución: 20 m; 0,01 m

30 Desde que el sonar de un barco emite sus ondas hasta que se detecta el eco transcurren 0,52 s. ¿A qué profundidad se halla el fondo del mar? **Solución:** 398 m

31 El nivel de intensidad sonora de un sonido es de 60 dB. Si la intensidad física de este sonido se hace diez veces mayor, ¿cuál será el nuevo valor de intensidad sonora?

32 Un avión emite un sonido de 3 000 W de potencia. Calcula la intensidad con la que se recibe dicho sonido:

a) A 1 km de distancia.

b) A 2 km de distancia.

Solución: ***a)*** $2{,}39 \cdot 10^{-4}$ W/m^2; ***b)*** $5{,}97 \cdot 10^{-5}$ W/m^2

33 Un altavoz emite un sonido con una potencia de 500 W. Calcula la intensidad física con la que se percibe el sonido a 10 m del altavoz. **Solución:** 0,4 W/m^2

Una onda transversal: la luz

34 Si el rayo incidente y el reflejado por un espejo plano forman entre sí un ángulo de 100°, ¿qué ángulo forman el rayo incidente y el espejo? **Solución:** 40°

35 ¿Por qué los objetos que se hallan sumergidos en el agua parecen estar más próximos a la superficie de lo que realmente están?

36 ¿Dónde se propaga la luz más rápidamente, en el agua o en el aire?

37 ¿Puede ser 0,9 el índice de refracción de una sustancia?

38 D ¿Cuál debe ser el ángulo de incidencia de un haz de luz para que el rayo incidente y el reflejado sean perpendiculares?

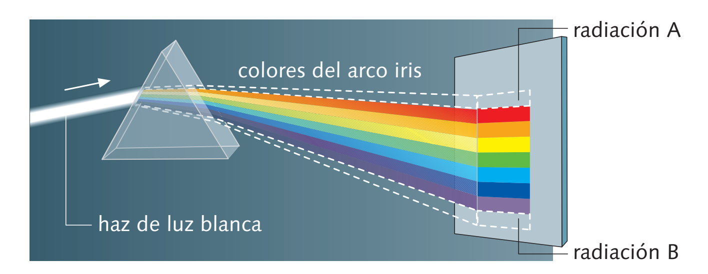
39 D Se va acercando un objeto a un espejo cóncavo; ¿en qué posición está el objeto cuando la imagen tiene el mismo tamaño que él?

40 Dibuja la marcha de los rayos en un espejo cóncavo si el objeto se encuentra más allá de su centro de curvatura. ¿Cómo es la imagen que se forma?

41 Dibuja la marcha de los rayos en una lente convergente si el objeto se encuentra más allá del foco de la lente. ¿Cómo es la imagen que se forma?

El espectro electromagnético

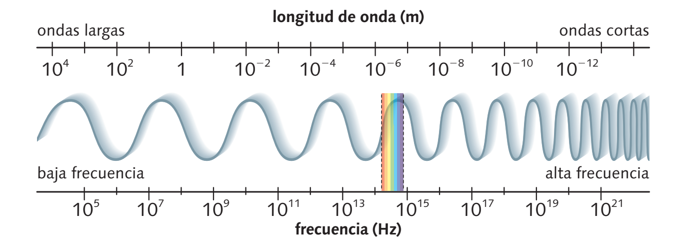
42 Cuando el haz de luz blanca atraviesa el prisma óptico, además de la dispersión de la luz pueden detectarse otros dos tipos de radiaciones.



a) ¿Qué tipo de radiación es la A? ¿Quién la descubrió?

b) ¿Qué tipo de radiación es la B? ¿Quién la descubrió?

43 Copia en tu cuaderno esta escala de frecuencias y de longitudes de onda y sitúa en ella las diferentes zonas del espectro electromagnético.



Actividades web 

44 En esta página web, **http://concurso.cnice.mec.es/cnice2005/56_ondas/**, puedes realizar las siguientes actividades interactivas:

Laboratorio I: medida de las magnitudes características de una onda.

Laboratorio II: comprobación de las leyes de la reflexión.

Laboratorio III: comprobación de las leyes de la refracción.

Evaluación

Lee el siguiente texto y contesta las preguntas:

¿Por qué oímos a la soprano pese a la potencia de la orquesta?

Lo mismo en el habla que en el canto, producimos sonidos sostenidos mediante vibraciones de las cuerdas vocales, repliegues de membrana mucosa situados en la nuez que interrumpen de forma periódica el flujo de aire que exhalan los pulmones. Estos pliegues vibran a una frecuencia fundamental que determina su altura tonal: normalmente entre 100 *y* 220 Hz, *o vibraciones por segundo, para el habla normal y de* 50 *a* 1 500 Hz *para el canto.*

[…]

Las orquestas alcanzan su máximo volumen sonoro a frecuencias que rondan los 500 Hz, *y decae rápidamente a frecuencias superiores; el oído humano, en cambio, posee máxima sensibilidad en la banda de los* 3 000 *a* 4 000 Hz. *Muchos cantantes de ópera aprenden a aumentar la potencia en los armónicos de frecuencia superiores a los* 2 000 Hz, *lo que contribuye a que sus voces destaquen.*

John Smith
Investigación y ciencia, noviembre 2007

1 ¿Cómo son las ondas que se describen en el texto?

a) Mecánicas o electromagnéticas.

b) Longitudinales o transversales.

■ ¿Son de este mismo tipo las ondas luminosas?

2 ¿Cómo explica el texto la producción de la voz en los seres humanos?

3 ¿Todas las frecuencias que aparecen en el texto corresponden a sonidos audibles?

4 ¿Qué frecuencias no percibe el oído humano? ¿Qué nombre reciben estos sonidos?

5 Calcula las longitudes de onda de las frecuencias que corresponden al habla normal y al canto. **Dato:** velocidad del sonido en el aire = 340 m/s

Solución: 3,4-1,55 m; 6,8-0,23 m

6 ¿Cuál es la máxima frecuencia que puede alcanzar una orquesta? ¿Para qué frecuencias posee el oído humano su máxima sensibilidad?

7 ¿Por qué destaca la voz del cantante de ópera por encima de la orquesta?

8 ¿Qué cualidad del sonido permite distinguir una nota emitida por una soprano de la misma nota emitida por un instrumento de la orquesta?

9 ¿Qué otras cualidades del sonido conoces? ¿Con qué magnitud física están relacionadas?

10 ¿Es cierto que los sonidos son más agudos cuanto mayor sea su longitud de onda?

11 Ordena de mayor a menor la velocidad del sonido en el agua, en el aire o en el vidrio.

12 Distingue entre intensidad física del sonido y sonoridad. ¿En qué unidades se mide la sonoridad?

13 Si la intensidad de un sonido se hace tres veces mayor, ¿cómo se modifica su sonoridad?

14 Relaciona cada magnitud con su unidad:

Magnitudes: velocidad de propagación de las ondas, longitud de onda, período, frecuencia, amplitud, intensidad de una onda, nivel de intensidad sonora, índice de refracción, potencia de una lente.

Unidades: sin unidades, dioptría, metro, m/s, dB, segundo, W/m^2, Hz.

15 La longitud de onda de una ola es de 0,75 m y tarda 10 s en llegar a la orilla desde un punto que dista 10 m. Calcula el período de las olas. ¿Cuál es la frecuencia de estas olas?

Solución: 0,75 s; 1,3 Hz

16 Si haces pasar a través de un prisma de cristal luz blanca, esta se descompone en colores. ¿A qué propiedad de la luz se debe este fenómeno?

17 Determina la velocidad de la luz en el agua, sabiendo que su índice de refracción es 1,33.

Solución: 225 564 km/s

18 Ordena de mayor a menor frecuencia las siguientes radiaciones electromagnéticas: rayos gamma, ondas de radio, microondas, ondas de televisión, rayos cósmicos, rayos X, rayos infrarrojos y rayos ultravioleta.

19 Completa en tu cuaderno estos dibujos:

